

Geol. vjesnik	31	123—136	5 slika u tekstu	Zagreb, 1979
---------------	----	---------	------------------	--------------

550.34:551.243

Seizmotektonska aktivnost u području doline Zrmanje

Eduard PRELOGOVIĆ,¹ Franjo FRITZ,² Dragutin CVIJANOVIC,³
i Anđelka MILOŠEVIĆ

¹ *Institut za primijenju geologiju i mineralne sirovine, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, YU—41000 Zagreb*

² *Geološki zavod, Sachsova 2, P. p. 283, YU—41000 Zagreb*

³ *Geofizički zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Grič 3, YU—41000 Zagreb*

Razmatra se neotektonsko razdoblje geološkog razvitka područja doline Zrmanje. Iznose se zapažanja o odnosima tektonskih blokova i aktivnosti rasjeda. Izdvojeni su seizmički aktivni predjeli, a pojave potresa dovode se u vezu s recentnim tektonskim gibanjima.

1. UVOD

Područje doline rijeke Zrmanje zanimljivo je s geološkog gledišta iz više razloga. U prvom redu ovdje se prostire granica relativno niskih Ravnih Kotara i Bukovice s uzdignutim Velebitom, te sjeverni rub pro-minskog bazena. Nadalje na potezu od Podvelebitskog kanala do izvorišta rječice Krupe brazdi »velebitski rasjed«, u čijoj su širokoj zoni naslage znatno razlomljene i poremećene. Istočno od Obrovca nalazi se sjecište rasjeda više pravaca pružanja, koji nisu nastali istovremeno. Oblici reljefa, morfološki tipovi, odnosi tektonskih blokova i raspored erozijsko-denudacijskih površina, zatim različite debljine i današnji visinski položaji pliocensko-kvartarnih laporovitih glina, vrlo mladi proboj rijeke Zrmanje prema zapadu, te pojave niza potresa, svjedoče o tektonskim pokretima koji su u toku.

Detaljnim geološkim, seizmološkim i seizmotektonskim istražnim radovima za potrebe hidroelektrana na Krki i Zrmanji došlo se do novih podataka, koji omogućavaju da se rekonstruira geološka povijest i ukaže na model recentnih seizmotektonskih procesa.

2. GEOLOŠKI SASTAV I TEKTONSKI ODNOSI

Uzdruž sjeвероistočnog dijela istraživanog područja, uz gornji tok rijeke Zrmanje i dalje jugoistočno kroz Kninsko i Petrovo polje prema Muću, brazdi regionalni rasjed. Istočno od njega pretežu trijaske i jurske, a zapadno kredne i paleogene naslage.

Trijaski sedimenti zastupljeni su u donjem trijasu tinjčastim škripljavicima u izmjeni s pješčenjacima, laporovitim vapnencima, vapnencima i ponegdje dolomitima. U srednjem trijasu dolaze vapnenci i dolomiti.

Jura se u području sjeverozapadno od Knina sastoji iz vapnenaca i dolomita. Uz desnu stranu gornjeg toka Zrmanje nalaze se dolomitne breče, svrstane na osnovi superpozicije u gornju juru.

Kredni sedimenti izgrađuju najveći dio terena zapadno od spomenutog regionalnog rasjeda. U donjoj kredi dolaze vapnenačke breče i vapnenci, dok u gornjoj samo vapnenci koji ponegdje sadrže prosljoke dolomita.

Eocenski foraminiferski vapnenci nalaze se samo mjestimice na lijevoj strani Zrmanje.

Promina-naslage izgrađuju znatan dio terena na lijevoj strani srednjeg i donjeg toka Zrmanje nizvodno od Mokrog polja. Zastupljene su laporovitim vapnencima, laporima, vapnenačkim konglomeratima i vapnencima.

Paleogenske vapnenačke breče i vapnenci Jelarnaslaga utvrđeni su samo na desnoj strani Zrmanje. Ove stijene zauzimaju veće površine nego što je to do danas poznato, ali zbog velike sličnosti s donjokrednim naslagama njihovo izdvajanje je moguće samo detaljnim kartiranjem.

Između izvorišta Krupe, Knina i Drniša registrirano je više rasjeda paralelnih s regionalnom dislokacijom. Ovi su rasjedi pretežno reversni s nagibom prema sjeveroistoku. Čine širu zonu koja se pruža u pravcu sjever-sjeverozapad—jug-jugoistok s nizom pratećih rasjeda. Sjeverno od donjeg toka Zrmanje pruža se također regionalni »velebitski rasjed«, uglavnom u pravcu istok—zapad. Manifestira se s više paralelnih rasjeda istog pružanja, koji su samo lokalno geološki utvrđeni u ovom dijelu terena zbog prisutnosti vrlo sličnih naslaga na površini — breča i vapnenaca donje krede i paleogena (Fritz & Šušnjara, 1969). »Velebitski rasjed« se ipak može, na temelju niza indikacija, pratiti do opisane zone rasjeda pružanja sjeverozapad-jugoistok. Duž te zone dolazi do horizontalnog kretanja terena na taj način, da je područje istočno od nje relativno pomicano na jugoistok. Pomak se može odrediti prema podacima iz osnovne geološke karte (Grimani i dr., 1972; Ivanović i dr., 1973) i detaljnih istražnih radova u ovom području za potrebe hidroelektrana na Krki i Zrmanji, te fotogeološke obrade i analize satelitskih snimaka, prati li se »velebitski rasjed«. Njegov »nastavak« prema istoku mogao bi biti rasjed pružanja istok-zapad sjeveroistočno od Mokrog polja, pa bi minimalno horizontalno kretanje bilo oko 8 km. Kao krajnje mogući »nastavak« zone »velebitskog rasjeda« na istok je rasjedna zona koja se pruža od Uzdolja kod Drniša na jugoistok uz Svilažu, što predstavlja pomak od oko 45 km (Cvijanović & Prelogović, 1977). Ovdje treba napomenuti, da je rasjedna zona pružanja sjeverozapad-jugoistok, uzduž koje je vršeno horizontalno kretanje, široka 10 do 15 km, pa se radi o nizu paralelnih rasjeda uzduž kojih je kretanje blokova postupno. Pri tom se, zapadno od rasjedne zone, blok Bukovice ponaša uglavnom kao jedna cjelina.

Oko Novigradskog mora i Obrovca razabiru se rasjedi pravca pružanja istok-sjeveroistok—zapad-jugozapad ili sjeveroistok-jugozapad. U manjoj mjeri zastupljeni su rasjedi protezanja gotovo sjever-jug (Olučić i dr., 1971; Fritz, 1977).

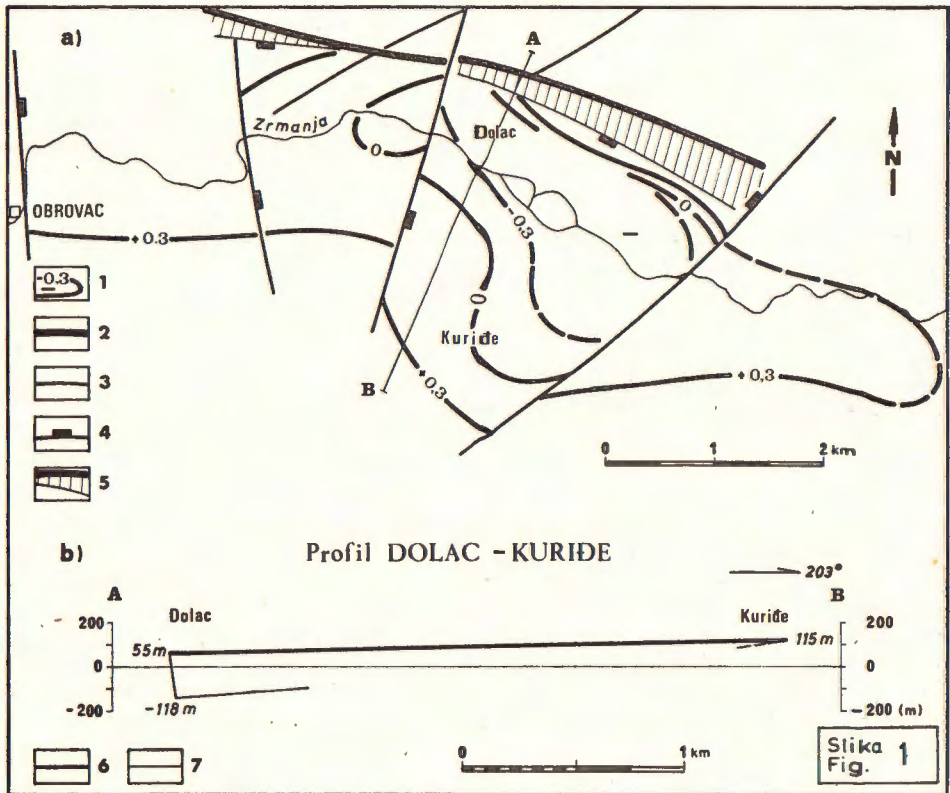
3. NEOTEKTONSKI RAZVITAK

Za analizu neotektonske aktivnosti poslužili su podaci o rasprostranjenosti i deformacijama neogensko-kvartarnih naslaga i različitih erozijsko-denudacijskih i akumulativnih površina, zatim rekonstrukcije nastanka reljefa i doline Zrmanje, proučavanje povijesti ranijih, predneotektonskih geoloških zbivanja i utvrđivanja veze seizmoloških pojava sa strukturno-tektonskom građom.

U širem području Zrmanje iza eocenskih foraminiferskih vapnena slijedi taloženje fliša, što ukazuje na buđenje tektonske aktivnosti i početna prestrukturiranja. U gornjem eocenu i donjem oligocenu na lijevoj strani Zrmanje odlažu se prominske naslage. Tijekom sedimentacije bazen se pomicao i tonuo prema sjeveru. U srednjem oligocenu dolazi do prekretnice u geološkom razvitku i nastupa definitivno okopnjavanje područja. Uskoro nakon toga, u donjem i srednjem miocenu jača tektonska aktivnost i javljaju se osnovni rasjedi i strukture koje će egzistirati kroz čitavu neotektonsku etapu. U tom vremenu nastaje prvotni reljef i gornji tok rijeke Zrmanje (Fritz, 1972). Dolazi do postupnog izdizanja Velebita i spuštanja u predjelu srednjeg i donjeg toka Zrmanje. Stvaraju se veća krška polja i depresije neposredno uz trase aktivnih rasjeda. U razdoblju gornji pliocen — srednji pleistocen u njima se talože slatkovodne naslage, pretežno laporovite gline. Nakon njihove sedimentacije ponovno jača tektonska aktivnost, što se može zaključiti iz današnjeg različitog hipsometrijskog položaja pliocensko-pleistocenskih naslaga. Daljnje spuštanje tijekom gornjeg pleistocena, u arealu navedenih depresija, imalo je za posljedicu probijanje Zrmanje prema zapadu i usijecanje današnjeg srednjeg i donjeg toka u laporovite gline. Recentna kretanja ukazuju na pretežno spuštanje Bukovice i izdizanje Velebita.

Izdanci i neerodirani ostaci laporovitih glina poslužili su za procjenu amplituda i brzina vertikalnih tektonskih pokreta u kvartaru. Njihove erozijsko-denudacijske površine utvrđene su na različitim visinama i u Bukovici su obično nagnute prema sjeveru (slika 1 b). Starije pliocenske i miocenske površine nalaze se u Velebitu na većim visinama, a razlučene su od predneotektonskih prema jelarskim i prominskim naslagama u širokoj okolini istraživanog područja (Cvijanović i dr., 1977). Pliocensko-pleistocenski laporovito glinoviti sedimenti nađeni su na ovim lokalitetima:

- a) Mokro polje: izdanci pliocensko-pleistocenskih naslaga nalaze se na visinama 190 i 212 m, debljina nepoznata;
- b) Žegar: otkriveni izdanci laporovih glina, visine od 50 do 90 m, naslage uslojene, nagib 5° do 10°, debljina nepoznata;
- c) Dramotići (vrtača): izdanci navedenih taložina na visini oko 100 m, debljina nepoznata;
- d) Svinjski Dolac (vrtača): izdanci naslaga na visini oko 80 m, debljina nepoznata;
- e) Kuridže-Berberi: laporovite gline otkrivene u udolini, visina 20 do 115 m, debljina nepoznata;



Sl. 1. Karta brzina vertikalnih tektonskih pokreta za razdoblje od srednjeg pleistocena do danas

1 — izolinije brzina vertikalnih tektonskih pokreta; 2 — uzdužni rasjed; 3 — poprečni rasjed; 4 — rasjed s pretpostavljenom oznakom relativno spuštenog bloka; 5 — zona rasjeda; 6 — kvartarna erozijsko-denudacijska površina; 7 — podinska ploha laporovitih glina.

Text-fig. 1. Map of the velocities of vertical tectonic movements for the period from middle pleistocene up today

1 — isolines of the velocities of vertical tectonic movements; 2 — longitudinal fault; 3 — transversal fault; 4 — a fault with assumed designation of relatively subsided block; 5 — fault zone; 6 — Quaternary erosional-denudational surface; 7 — footwall plane of marly clays.

- f) Dolac u dolini Zrmanje: površinski izdanci naslaga na visinama između 10 i 55 m, podina —118 m, oko Berbera i Dolca također ima istih taložina na visini 6 do 20 m, kod Razovca nanosi Zrmanje do 14,8 debljine ispod kojih su na lijevoj strani nabušeni lapori;
- g) Meka Draga (Novigradsko more): izdanci naslaga na visinama do 35 m, debljina nepoznata.

Promatrane naslage taložene su u razdoblju pliocen — srednji pleistocen. Malez & Sokač (1968) ih pridružuju srednjem pleistocenu. Za određivanje brzina vertikalnih tektonskih pokreta uzeto je razdob-

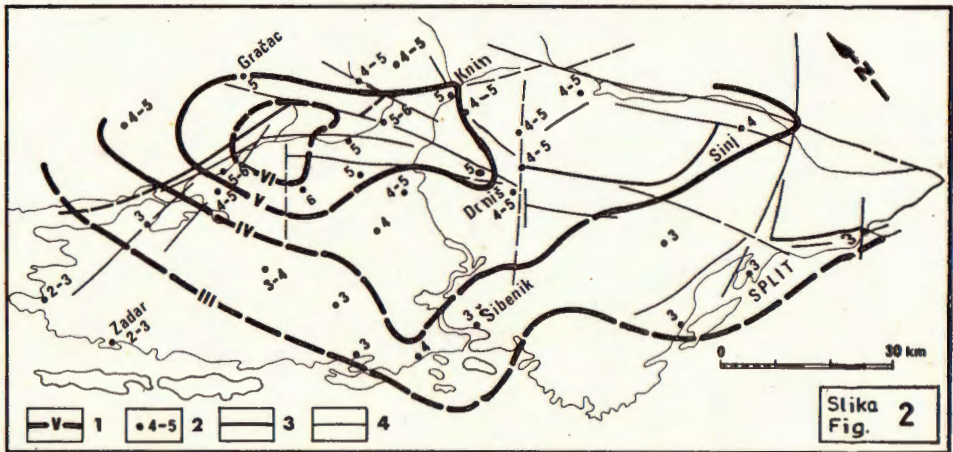
lje od 250.000 godina do danas. Srednje brzine kreću se između 0 i +0,15 mm/god. (slika 4). Najviše se izdiže Velebit (0,15 mm/god.). Južno od Obrovca vrijednosti brzina pokreta su oko 0,1 mm/god. Na slici 1a prikazan je predjel istočno od Obrovca. Razabiru se manje uzdignuti i spušteni blokovi. Interesantan je rasjed sjeverno od Zrmanje. On pripada zoni »velebitskog rasjeda«. Aktivan je nakon taloženja laporovitih glina uz skokove iznad 80 m.

Promatrajući neotektonsku etapu u cjelini zaključuje se da je obuhvaćeno područje uglavnom u izdizanju (slika 4). Pri tom je Velebit oštro odijeljen od ostalih predjela. Najveće amplitude izdizanja, u ovom dijelu Velebita, prelaze 900 m. Zbliženje izolinija ukazuje na aktivnost »velebitskog rasjeda«. Južno od Zrmanje ističe se uzdignuti blok između Donjeg Karina i Ervenika s izdizanjem iznad 400 m. Drugdje su vrijednosti amplituda manje od 200 m, čime su označeni relativno spušteni blokovi. Brzine recentnih vertikalnih tektonskih pokreta pokazuju spuštanje Bukovice. U Obrovcu, gdje su opetovano mjereni nivelmani visoke točnosti (Cvijanović i dr., 1977), ustanovljene su dvije vrijednosti: zapadno od rasjeda pružanja sjever-jug $-0,2$ mm/god., a u spušenom bloku istočno $-0,7$ mm/god., što su već gibanja koja izazivaju seizmičku aktivnost.

U seizmotektonskoj karti (slika 4) izdvojeni su rasjedi aktivni tijekom neotektonske etape. Najveći i najstariji je »velebitski rasjed«, koji je predstavljen širom zonom paralelnih rasjeda. Vjerojatno je aktivan kroz čitavu neotektonsku etapu. Ta aktivnost je izraženija od srednjeg pleistocena. Oko izvorišta Krupe taj rasjed je presječen serijom dijagonalnih rasjeda pravca pružanja sjeverozapad-jugoistok. Rasjedi protezanja sjeveroistok-jugozapad ocjenjuju se kao najmlađi, nastali u zadnjoj fazi neotektonskih pokreta (Marković i dr., 1977). Također kao mladi rasjedi mogu se izdvojiti oni pravca pružanja gotovo sjever-jug.

4. SEIZMIČNOST

Podaci o seizmičkoj aktivnosti indikatori su recentnih tektonskih gibanja. Iako podaci o potresima obuhvaćaju relativno kratko razdoblje, ipak su oni vezani za određene geološke procese koji su, pak, nastavak starijih neotektonskih pokreta. U području doline Zrmanje dogodilo se više potresa pretežno manjeg intenziteta (Cvijanović i dr., 1976; UNDP/UNESCO, 1974). Spominju se naročito lokaliteti: Obrovac, Žegar i Ervenik. U široj okolici postoji nekoliko epicentralnih područja, a najbliže je u planini Promini. Pretežno slabiji potresi nižu se od Novigradskog mora i Obrovca prema jugoistoku dolinama Zrmanje i Krke do Promine. Time se izdvaja seizmički aktivna zona. Početkom 1976. godine u dolinama Zrmanje i Krke očituje se učestalija seizmička aktivnost. Najjači potres dogodio se 22. II 1976. s intenzitetom VI stupnjeva MCS ljestvice u blizini ušća Krupe, u zoni sjecišta »velebitskog rasjeda« i rasjedne zone pravca pružanja sjeverozapad-jugoistok. Izoseiste tog potresa (slika 2) izdužene su u pravcu sjeverozapad-jugoistok, a najveći dio energije prenosio se jugozapadno od epicentra. Nazire se izvjesni diskontinuitet u širenju energije u području od Knina do Drniša, te prema Lici.



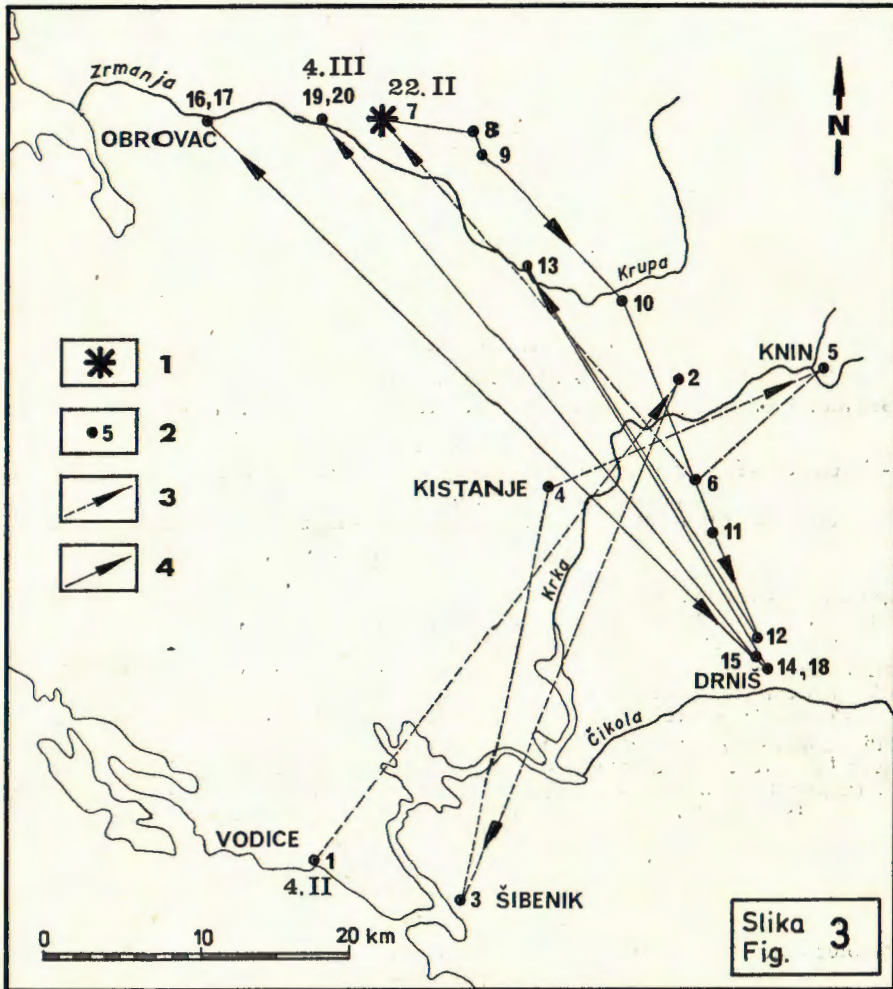
Sl. 2. Karta izoseista potresa od 22. II 1976. u 17 h i 15 m ($I_0 = VI^0$ MCS; $M = 4,1$)
 1 — izoseiste potresa; 2 — lokaliteti s oznakom intenziteta potresa; 3 — regionalni rasjedi; 4 — ostali veći rasjedi.

Text-fig. 2. Isoseismal map of the earthquake, february 22, 1976; 17 h 15 m
 ($I_0 = VI^0$ MCS; $M = 4,1$)

1 — earthquake isoseismals; 2 — localities with the designation of earthquake intensity; 3 — regional faults; 4 — other larger faults.

U lipnju 1976. godine u selu Muškovci na lokaciji RHE Obrovac postavljen je visokoosjetljivi kratkoperiodički seizmograf za praćenje lokalne seizmičke aktivnosti. Drugi seizmograf istih kvaliteta nalazi se na otoku Viru. Analizom registracija seizmografa utvrđeno je da se u području polumjera 70 km oko tih lokacija događaju slabi potresi. Seizmograf u Viru je u vremenu od 7. X 1975. do 31. XII 1976. godine zabilježio 25 lokalnih potresa. Prema makroseizmičkim podacima ustanovljeno je još 17 lokalnih potresa i 2 tutnjave. Više od polovice svih tih potresa (23) imalo je žarište u području od Šibenika do Obrovca. Posebno značajna je serija potresa u razdoblju od 4. II do 4. III 1976. godine (najjači potres: $44^{\circ} 12' N$ i $15^{\circ} 51' E = 4,1$; $I_0 = VI$ stupnjeva MCS ljestvice). U prvih pet mjeseci rada seizmografa u Muškovcima zabilježeno je oko 20 lokalnih potresa s epicentrom 5 do 60 km od postaje.

Potresu od 22. veljače 1976. godine prethodile su tutnjave i slabiji potresi u Kninu, Drnišu, Uzdolju, Radučiću i Vodicama. Naknadni potresi također su trajali dulje vrijeme. Na temelju prikupljenih podataka o tim potresima bilo je moguće utvrditi migraciju epicentara potresa nakon tutnjave u Vodicama 4. veljače (slika 3). Svi opaženi potresi nalaze se u uskom području na potezu od padina Velebita do Promine i definiraju žarišno područje najjačeg potresa od 22. veljače (Milošević, 1976). Zanimljivo je da u vremenskom razdoblju od deset sati potresi sele od Krupe prema Promini (opažanja pod brojevima 8 do 12). Oni se očito nalaze u zoni dijagonalnih rasjeda pružanja sjeverozapad-jug-istok. Daljnji naknadni potresi događaju se podno Velebita i oko Promine, što ukazuje da je uzrok javljanja potresa pomicanje blokova, koji su razdvojeni spomenutom zonom dijagonalnih rasjeda.



Sl. 3. Migracija epicentra potresa u razdoblju od 4. veljače do 4. ožujka 1976. godine

1 — epicentar potresa od 22. veljače 1976; 2 — točka opažanja u slijedu potresa; 3 — smjer migracije potresa prije 22. veljače; 4 — smjer migracije potresa nakon 22. veljače.

Text-fig. 3. — Migration of earthquakes epicentres in the period from february 4 to march 4, 1976

1 — epicentre of the earthquake, February 22, 1976; 2 — observation point in earthquakes sequence; 3 — direction of earthquakes migration prior to February 22; 4 — direction of earthquakes migration after February 22.

Sl. 4. Seizmotektonska karta

Seizmotektonski podaci

Seizmotektonska rajonizacija: 1 — očekivanje maksimalne magnitude potresa.

Seizmološki podaci

2 — intenzitet (I_0) i magnitude (M) potresa; 3 — dubine žarišta (u km): a) nema podataka, b) 0—9; 4 — čestine potresa.

Seizmička rajonizacija: 5 — izoseiste maksimalnih intenziteta potresa.

Neotektonski podaci

Amplitude i brzine vertikalnih neotektonskih pokreta: 6 — amplitude za neogen i kvartar u metrima; 7 — brzine vertikalnih tektonskih pokreta za kvartar u mm/god.; 8 — brzine recentnih vertikalnih tektonskih pokreta u mm/god.

Seizmotektonski aktivni rasjedi: 9 — rasjedi u čijim su zonama izraženi seizmotektonski procesi; 10 — rasjedi u čijim su zonama manje izraženi seizmotektonski procesi; 11 — veći rasjedi kod kojih nije utvrđena seizmička aktivnost.

Ostali neotektonski pokazatelji: 12 — izdanci laporovitih glina; 13 — regionalni rasjed; 14 — reversni rasjed; 15 — rasjed bez oznake karaktera; 16 — pretpostavljeni rasjed; 17 — prateći rasjed; 18 — rasjed sa smjerom horizontalnog pomaka; 19 — miligali/km; 20 — nagib erozijsko-denudacijske površine.

Text-fig. 4. Seismotectonic map

Seismotectonic data

Seismotectonic zoning: 1 — isolines of the expected earthquake maximum magnitudes.

Seismic data

2 — intensities (I_0) and magnitudes (M) of earthquake; 3 — depth (km): a) no data, b) 0—9; 4 — earthquake frequencies.

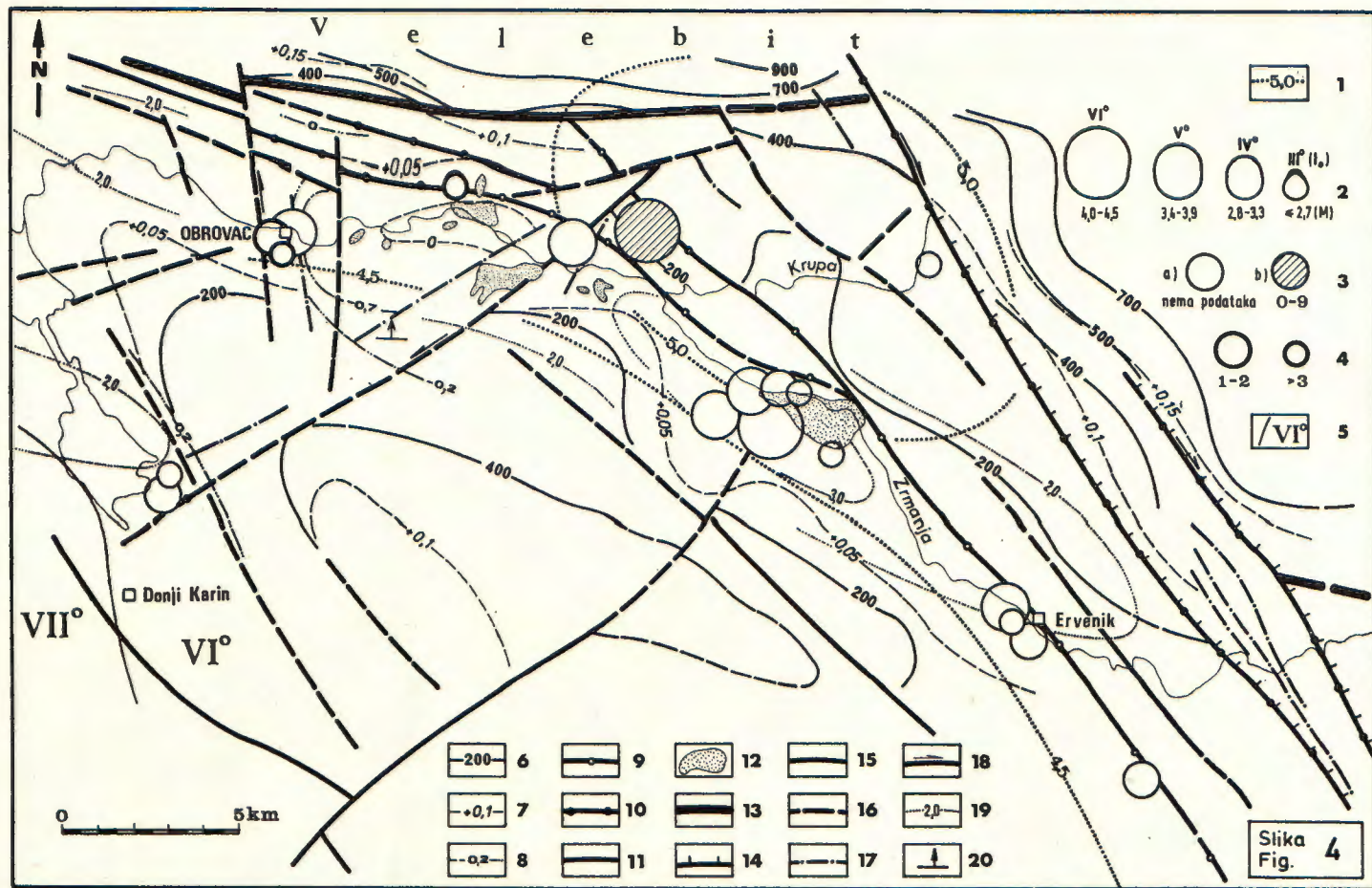
Seismic zoning: 5 — isoseismals of maximum earthquake intensities.

Neotectonic data

Amplitudes and velocities of vertical neotectonic movements: 6 — amplitudes for Neogene and Quaternary in meters; 7 — velocities of vertical tectonic movements for Quaternary in mm/years; 8 — velocities of Recent vertical tectonic movements in mm/years.

Seismotectonically active faults: 9 — faults in whose zones seismotectonic processes are emphasized; 10 — faults in whose zones seismotectonic processes are less emphasized; 11 — major active faults in which seismic activity was not registered.

Another neotectonic indications: 12 — outcrops of marly clays; 13 — regional fault; 14 — reverse fault; 15 — fault without characteristics designation; 16 — supposed fault; 17 — parallel fault; 18 — fault with direction of horizontal displacement; 19 — mgal/km; 20 — inclination of erosional-denudational surface.

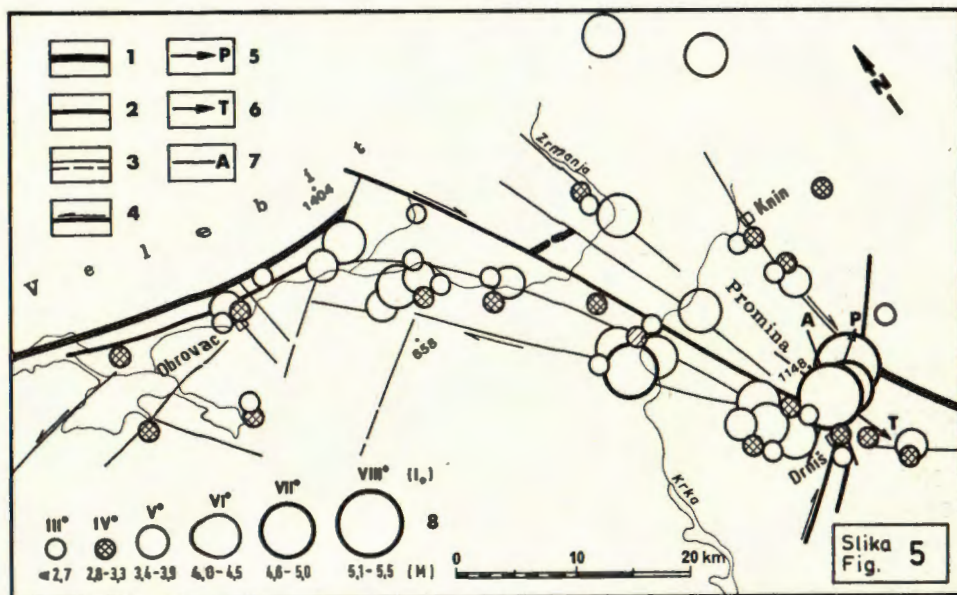


5. SEIZMOTEKTONSKA KARTA

Neotektonski razvitak i posebno najnovija gibanja jasnije se razlučuju poznavanjem seizmotektonske aktivnosti. U seizmotektonskoj karti (slika 4) izdvojene su amplitude i brzine neotektonskih pokreta čijim konturama se ocrtavaju veći blokovi. Rasjedi su klasificirani prema seizmotektonskoj aktivnosti. Na taj način obilježene su recentne tektonski aktivne zone. Gradijentima izostatskih gravimetrijskih anomalija osobito je istaknut potez Obrovac—Ervenik (Prelogović i dr., 1978). U predjelu ušća Krupe zabilježene su vrijednosti od 3 miligala po kilometru, što označava područje znatnije seizmičnosti.

U kartu su također uneseni podaci o zabilježenim potresima. Klasifikacija je načinjena prema magnitudama i intenzitetima potresa. Izoeste potresa predstavljaju seizmičku rajonizaciju, a očekivane maksimalne magnituda potresa seizmotektonsku rajonizaciju. U procjenu očekivanih maksimalnih magnituda potresa uključeni su i pojedini neotektonski elementi (Skoko i dr., 1978). Dobiveni maksimalni iznosi magnituda su do 5,0. Mogući su u zoni rasjeda pravca pružanja sjeverozapad-jugoistok. U predjelu sjecišta tih rasjeda s »velebitskim rasjedom« dolazi do pojačanih tektonskih promjena, pa se očekuju potresi s maksimalnim magnitudama nešto većim od 5,0.

Prema prikupljenim podacima moguće je uočiti seizmotektonski model (slika 5). Najveća koncentracija potresa nalazi se u zoni dijagonalnih rasjeda pružanja sjeverozapad-jugoistok. Seizmički je aktivna dionica koja odgovara horizontalnom pomaku »velebitskog rasjeda«. Uslijed horizontalnih pokreta u spomenutoj zoni rasjeda dolazi do smicanja susjednih blokova i to je uzrok javljanja potresa. Osim smicanja, vjerojatno se događa i rotacija blokova čime se mogu tumačiti razlike u veličini horizontalnih pomaka. Pri tom se primjerice blok Bukovice rotira retrogradno. Najveći hod događa se upravo uzduž zone rasjeda između Velebita i Drniša. U predjelu od Obrovca do riječice Krupe pritisci su u zoni sučeljavanja Bukovice s Velebitom najjači. Kao posljedica toga javljaju se rasjedi različitog pravca pružanja uz zbližavanje rasjeda prema ušću Krupe. Također se povećavaju amplitude i brzine vertikalnih kvartarnih pokreta. Dijelovi Bukovice oko donjeg i srednjeg toka Zrmanje su u spuštanju, a površine denudacije nagute su prema Velebitu. To bi moglo značiti da dolazi do izvjesnog podvlačenja Bukovice pod Velebit. Široka zona »velebitskog rasjeda« također svojim povišnjem ukazuje na reversne odnose, makar se sama zona u dubini, prema geofizičkim podacima (Zagorac, 1975), odražava kao vrlo strma. Rotacijom se može tumačiti nastajanje najmlađih rasjeda pružanja istok sjeveroistok-zapad jugozapad oko donjeg toka Zrmanje, te manji horizontalni pomaci stijena duž njih. Posljedica istih kretanja je konvergencija dijagonalnih rasjeda pružanja sjeverozapad-jugoistok prema planini Promini (potez Drniš—Velušić—Razvođe). Također uslijed rotacije u području oko Promine pokreti su usmjereni prema sjeveroistoku, što se može potvrditi mehanizmom pokreta u žarištu potresa kod Drniša (Ritsema, 1974). Slabiji potresi koji su prethodili potresu od 22. II 1976. godine ukazuju na početna pomicanja istog smjera.



Sl. 5. Seizmotektonski model

1 — regionalni rasjed ; 2 — veći rasjedi; 3 — ostali veći rasjedi; 4 — rasjed sa smjerom horizontalnog pomaka.

Mehanizam pokreta u žarištu potresa: 5 — smjer kompresije; 6 — smjer dilatacije; 7 — pravac pružanja aktivnog rasjeda.

Epicentri potresa: 8 — intenziteti (I_0) i magnitude (M) potresa.

Text-fig. 5. Seismotectonic model

1 — regional fault; 2 — larger faults; 3 — other faults; 4 — fault with direction of horizontal displacement.

Movement mechanism in the epicenter: 5 — direction of compression; 6 — direction of dilatation; 7 — line of strike of active fault.

Earthquakes epicentres: 8 — intensities (I_0) and magnitudes (M) of earthquakes.

6. ZAKLJUČAK

Kompleksnijim istraživanjima posljednjih godina skupljeni su podaci koji ukazuju na izraženu neotektonsku i seizmotektonsku aktivnost u području doline rijeke Zrmanje. Inicijalni pokreti i osnovni pravci rasjeda javili su se i prije neogena. Već tada se očituje pomicanje i spuštanje promirskog bazena prema sjeveru. Izdizanje čitavog područja, koje je započelo u srednjem oligocenu, bilo je postupno. U početku neotektonske etape razvitka obuhvaćeni dio Velebita predstavljao je nizak denudacijski reljef. Vjerojatno se u tom razdoblju počinju javljati pomaci uzduž rasjeda pružanja sjeverozajad-jugoistok između izvorišta Krupe i Drniša. Tereni južno od »velebitskog rasjeda« spuštaju se i nastaju paleodepresije, u kojima se u pliocenu i pleistocenu odlažu laporovite gline. Nakon njihovog taloženja tektonska aktivnost ne prestaje.

Relativno spuštanje područja srednjeg i donjeg toka Zrmanje nastavlja se i traje do danas. Velebit je, međutim, u stalnom izdizanju. Pokreti su naročito izraženi uz rubove cjelovitog bloka Bukovice, odnosno paralelno s »velebitskim rasjedom« i zonom rasjeda pružanja sjeverozapad-jugoistok. Sudeći prema podacima o seizmičnosti, ta aktivnost traje i danas.

Pretpostavljeni model seizmotektonskih procesa ukazuje na smicanje blokova uzduž zone rasjeda pravca pružanja sjeverozapad-jugoistok uz istovremenu rotaciju. Time se mogu objasniti pojave koje su posljedica tektonske i seizmičke aktivnosti u razmatranom području. Da su gibanja recentno u toku, potvrđuje stalna seizmička aktivnost. O tome svjedoče i izražene amplitude kvartarnih pokreta, različite brzine recentnih vertikalnih tektonskih gibanja, te nastajanje mladih rasjeda. Značajno je i to da su kontakti između najmlađih sedimenata — Jelar naslaga i laporovitih glina, i dodiri ovih naslaga sa starijim stijenama, redovito na rasjedima (Fritz i dr., 1978).

Nakon taloženja laporovitih glina amplitude vertikalnih tektonskih pokreta u zoni »velebitskog rasjeda« iznose oko 80 m ili 0,3 mm/god., pretpostavi li se razdoblje od 250.000 godina. Brzine recentnih pokreta oko Obrovca su do $-0,7$ mm/god. Horizontalna kretanja u zoni rasjeda između Krupe i Drniša, za čitavu neotektonsku etapu, iznose prosječno 1,8 mm/god.

Prostorni raspored i nivo seizmičke aktivnosti, migracija žarišta potresa i širenje seizmičke energije potvrđuju usku vezu s tektonskim procesima u području doline Zrmanje.

Primljeno 19. 05. 1975.

LITERATURA

- Cvijanović, D. & Prelogović, E. (1977): Seismicity and Neotectonic Movements of the Croatian Region (SFR Yugoslavia). — *Proceed. XV General Assembly European seismological Commission Krakow, 22–28 Sept., 1976*, Publ. Inst. Geophys. Acad. Sc., A–5 (116), 281–290, Warszawa–Lodz.
- Cvijanović, D., Prelogović, E. & Skoko, D. (1976): Seizmotektonska karta područja SR Hrvatske. — *Acta seismologica Jugosl.*, 4, 11–23, Beograd.
- Cvijanović, D., Skoko, D., Marić, K., Bojanić, L., Ivičić, D., Fritz, F., Prelogović, E., Zagorac, Ž., Kranjec, V. & Velić, J. (1977): *Procjena seizmičkih sila i definiranje projektnih parametara učinka potresa na lokaciji nuklearne elektrane Vir*. Arh. »Elektroprivrede — Dalmacije«, Split.
- Fritz, F. (1972): Razvitak gornjeg toka rijeke Zrmanje. — *Krš Jugoslavije*, 8/1, 1–16, Zagreb.
- Fritz, F. (1977): *Litostratigrafska i tektonska osnova hidrogeoloških odnosa Ravnih Kotara i Bukovice*. Disertacija, 148 p., Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Fritz, F., Bahun, S. & Pavičić, A. (1978): Tektonski okvir karbonatnih klastita u području Zrmanje uzvodno od Obrovca. — *Krš Jugoslavije* (u štampi).
- Fritz, F. & Šušnjara, A. (1969): New tectonical data in the region Maslenica—Obrovac—Žegar in north-western Dalmatnia. — *Bull. Sci. Cons. Acad. Yougosl.*, (A), 14/9–10, Zagreb.
- Grimani, J., Šikić, K. & Šimunić, A. (1972): *Osnovna geološka karta SFRJ, list Obrovac 1:100.000*. — Inst. geol. istraž. Zagreb (1962–1966), Sav. geol. zavod, Beograd.

- Ivanović, A., Sakač, K., Marković, S., Sokač, B., Šušnjar, M., Nikler, L. & Šušnjara, A. (1973): *Osnovna geološka karta SFRJ, list Obrovac 1: 100.000*. — Inst. geol. istraž. Zagreb (1962–1967), Sav. geol. zavod, Beograd.
- Malez, M. & Sokač, A. (1968): O starosti slatkovodnih naslaga Erveničkog i Žegarskog polja. — *III. Simp. Dinarske asocijacije, 1*, 73–80, Zagreb.
- Marković, M., Đoković, J. & Stanisavljević, R. (1977): *Fotogeološka i fotomorfološka studija područja CHE Obrovac*. Arh. Rud.-geol. fak., Beograd.
- Milošević, A. (1976): *Makroseizmički podaci potresa od 22. veljače 1976. godine u 17 h 15 rn na području južnog Velebita i neka obilježja seizmiciteta pleistoseističkog područja tog potresa*. Arh. Geofiz. zavoda, Zagreb.
- Oluić, M., Haček, M. & Hanich, M. (1971): *Fotogeološko-terenska interpretacija šireg područja Bukovice (sjeverna Dalmacija)*. — *Geol. vjesnik, 24*, 57–63, Zagreb.
- Prelogović, E., Cvijanović, D., Kranjec, V., Skoko, D., Fritz, F., Bojanić, L., Zagorac, Ž., Hernitz, Ž., Velić, J., Ivičić, D. & Marić, K. (1978): *Primjeri definiranja projektnih parametara učinka seizmičkih sila povezani s geološkom građom u SR Hrvatskoj*. — *5. Jug. Simp. hidrogeol. inž. geol., Beograd 18.–20. IV 1978.*, 2, 215–234, Beograd.
- Ritsema, A. R. (1974): *Fault Plane Mechanisms of Balkan Earthquakes*. — *UNDP/UNESCO, Proceed. Seminar Seismotectonic Map Balkan Region, Dubrovnik, April 17–27, 1973*, 229–238, UNESCO, Skopje.
- Skoko, D., Cvijanović, D. & Prelogović, E. (1978): *Seismic activity based on the neotectonics*. — *Proceed. Symp. Analysis Seismicity Seismic Risk, Liblice, 17–22 October, 1977*, Czechosl. Acad. of Sci., Geophys. Inst., 81–91, Prague.
- Zagorac, Ž. (1975): *Neki rezultati magnetometrije u sklopu kompleksne geofizičke interpretacije područja Dinarida*. — *Nafta, 2*, 64–71, Zagreb.
- UNDP/UNESCO (1974): *Survey of the Seismicity of the Balkan Region*. — *Catalogue of Earthquakes, 1, 1901–1970, II Prior to 1901*, 1–540, UNESCO, Skopje.

Seismotectonic activity in the area of the Zrmanja valley

E. Prelogović, F. Fritz, D. Cvijanović and A. Milošević

In this paper the neotectonic period of the geological process in the area of the Zrmanja valley is considered. Some observations of the relationship between blocks and fault activity are presented. The seismically active areas have separated and the earthquake occurrences have been brought into relation with recent tectonic movements.

The analysis of neotectonic movements was made on the basis of the data on the spreading and deformation of Neogene-Quaternary deposits and various erosion-denudation surfaces, by studying the formation of the Zrmanja valley and its configuration, as well as by studying the history of previous, pre-neotectonic occurrences and geologic composition in depth and by establishing the connection between seismological occurrences and structural-tectonic relationships.

The tectonic movements do not cease upon sedimentation of marly clays (Middle Pleistocene until today). The displacements along the »Velebit Fault« exceed 80 m in places (Fig. 1a) and Quaternary erosion-denudation surfaces at Bukovica are, in general, inclined northward (Fig. 1b). From Obrovac along the valleys of Zrmanja and Krka towards Drniš there is a seismically active zone. The strongest earthquake in the area of Zrmanja occurred on February 22, 1976 (Text-fig. 2). Migration of earthquakes during the period of one month (Text-fig. 3) shows that seismic activity occurs in fault zone with northwest-southeast strike. The data on neotectonic movements and seismic activity are presented in the seismotectonic map (Text-fig. 4).

A seismotectonic model is shown in Text-fig. 5. The major concentration of earthquakes is in the diagonal fault zone which has a northwest-southeast strike. The part that corresponds to the horizontal displacement of the »Velebit Fault« is seismically active. The horizontal movements in the mentioned fault zone result in the sheer displacement of adjacent blocks and this is the cause of earthquake occurrence. Beside sheer displacement the rotation of blocks probably takes place as well which may explain the occurrence of large horizontal displacements. In such a case, for example, the Bukovica block rotates retrogradely. The largest displacement occurred just along the fault zone between Velebit and Promina. In the area from Obrovac to Krupa river the strongest pressures are established in the zone where Bukovica is facing Velebit. It results in faults or various lines of strike and the amplitudes and velocities of vertical Quaternary movements are also increased. The occurrence of the youngest faults, having northeast-southwest strike may be explained by rotation, as well as by smaller horizontal displacements along them. The result of such movements is the convergence of diagonal faults with a northwest-southeast strike towards Promina mountain. In the zone of Promina mountain, the movements are in a northeast direction which may be confirmed by the mechanism of movements in the epicentre of the earthquake.

Manuscript received May 19, 1978.